



МФТИ, Физтех

Институт
электродвижения



ГАЗПРОМБАНК

Перспективная энергетика на основе электрохимических технологий и гибких сетей

Рынок России и дружественных стран – мировой опыт – суверенный технологический пакет

А.М. Кашин

Директор Института электродвижения МФТИ

Фокус доклада

- Накопители и ТОТЭ
- Гибкие сети постоянного тока и островные режимы
- Формирование зоны технологической устойчивости

Миссия МФТИ и метрики целевой модели



Миссия

- быть мировым центром научной и технологической мысли
- служить источником новых знаний и передовых технологий
- готовить лидеров, способных отвечать на ключевые научно-технические вызовы и определять успех России в XXI в.

Качество набора абитуриентов

1

место в РФ

Nature Index

1

место в РФ*

Средний доход выпускников

1

место в РФ

В высокотехнологичных сферах

~20%

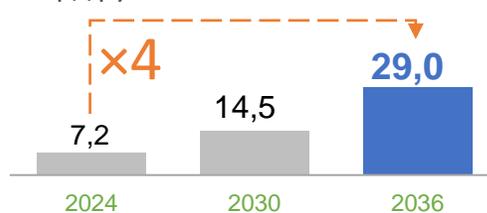
защит аспирантов РФ**

Стратегическая цель 2036

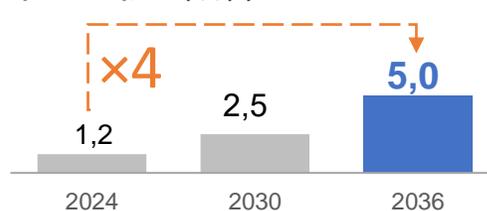
Создание расширенной модели БОЛЬШОГО ФИЗТЕХА:

- создание на базе университета в партнерстве с заинтересованными организациями новых перспективных технологий и на их основе бизнесов, новых отраслей и рынков
- подготовка специалистов-лидеров для решения этих задач

Объем НИОКР, млрд руб.



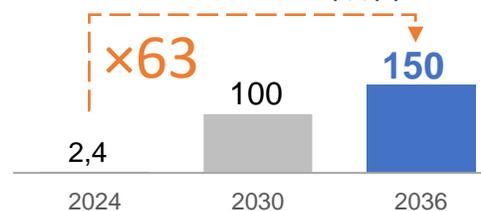
Выручка компаний с долей МФТИ (от 10%), млрд руб.



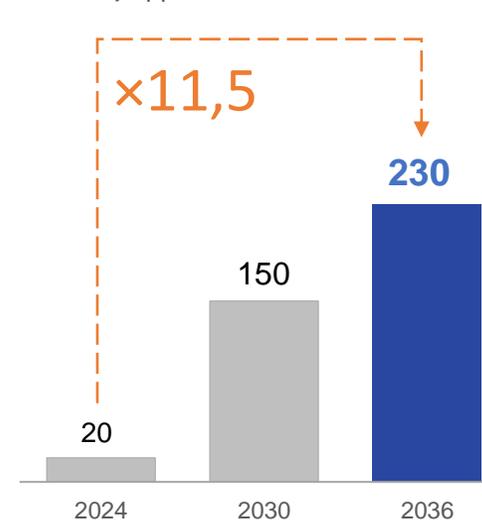
Лицензионные платежи от созданных РИД, млрд руб.



Выручка компаний Большого Физтеха, млрд руб.



Количество дочерних компаний МФТИ, ед.



* по числу престижных публикаций на 1 НПР

** в отдельных наукоемких высокотехнологичных направлениях, таких как космические технологии и электроника, физика, университет обеспечивает около 20% от общей численности в России успешно защитившихся в срок аспирантов

Модель технологического лидерства

Направления

научно-технологической повестки

Значимость для экономики

Электродвижение и эл. робототехника

- Модульный мобильный накопитель энергии
- Батареи первичных химических источников тока
- Гибридная силовая установка для электротранспорта

Системное значение для общества

Отраслевые платформенные решения ИИ

- Программно-аппаратный комплекс «NVIDIA-free»
- Платформа ML автоматизации технологических процессов
- Цифровые ассистенты-профессионалы для экосистемы 1С

Технологическая инфраструктура будущего

Бесшовное цифровое небо

- Спутниковая связь для управления БАС
- Мониторинг природных и техногенных объектов
- Оптический канал спутник-спутник-земля для ДЗЗ

Критичность для национальной безопасности

Гибридные технологии для электронных и фотонных систем

- Широкоспектральная камера
- Устройства энергонезависимой памяти
- 32-кубитный квантовый процессор

Важность для здоровья каждого

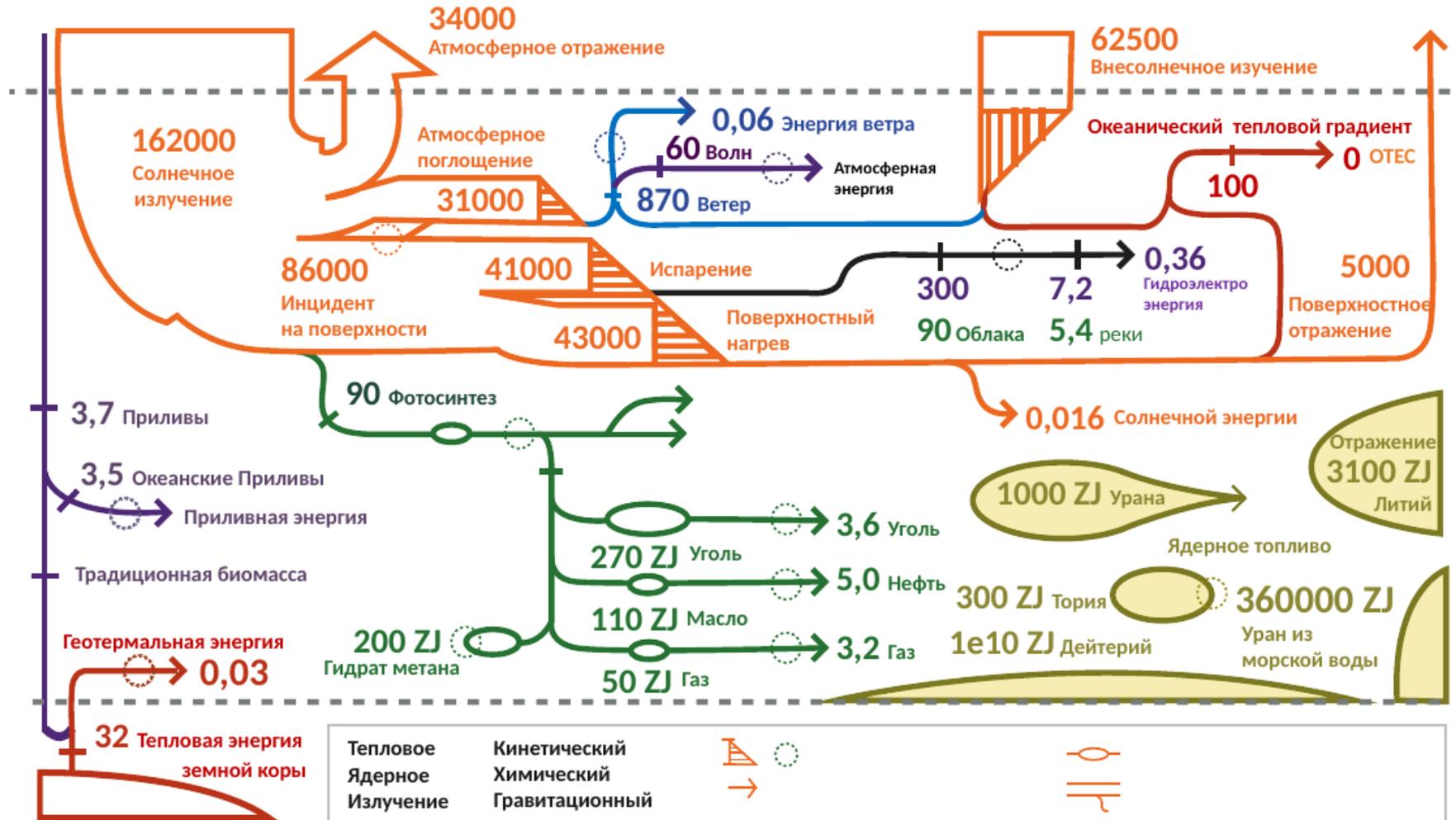
Технологии для системной и синтетической биологии

- Система автоматизированного синтеза протяженных фрагментов ДНК
- Платформа вирусного мутагенеза растений с заданными признаками
- Новый класс адресных белковых противоопухолевых препаратов



* Организации, выразившие интерес к реализации совместных исследований и разработок, разворачиванию совместных R&D центров

Глобальные источники энергии



Исходная схема полезна как напоминание: энергетика опирается на огромный набор природных потоков и запасов, но в сеть и к потребителю поступает только управляемый электрический продукт.

1. Электрохимия

Базовая архитектура перспективной энергетики — это сочетание накопителя, силовой электроники и интеллектуального управления. Отдельный дополнительный трек — ТОТЭ для автономной генерации и когенерации.

2. Аккумуляторы

Основной массовый класс для стационарной энергетики — железо-фосфатные аккумуляторы. Натрий-ионные решения — нишевая альтернатива, а не замена железо-фосфатной платформы.

3. Гибкие сети

Постоянный ток, островной режим и программируемая микросеть сокращают число преобразований, повышают живучесть сети и упрощают интеграцию ВИЭ, дизеля, аккумуляторов и топливных элементов.

4. Приоритет для РФ

Домашний рынок России должен быть главным, но опираться он должен на собственный контур материалов, сборки, силовой электроники и на кооперацию с дружественными странами. Образ будущего – экспорт тех суверенитета и формирование зоны технологической устойчивости в энергетике и широкого «нашего» рынка.

Содержание далее: физические источники энергии → классификация электрохимических технологий → мировой рынок → рынок РФ и дружественных стран → ТОТЭ → постоянный ток и островные системы.

1. Потоки энергии

Солнце, ветер, вода, геотермия и топливо дают очень большие валовые потоки энергии, но они не совпадают с моментом и профилем спроса, имеют стохастический характер.

Главная проблема — не физический потенциал, а управляемость и согласование во времени.

2. Гибкость. Преобразование и накопление

Чтобы сделать поток полезным для потребителя, требуются преобразователь, накопитель и алгоритм управления. Именно здесь возникают ключевые рынки: аккумуляторы, силовая электроника, системы управления, ТОТЭ и микросети.

3. Устойчивая электрификация

В современных сетях ценность создаёт не просто киловатт-час, а управляемая мощность: пиковое покрытие, резерв, автономность, качество электроэнергии, островной режим и снижение затрат потребителя, сетевая отказоустойчивость, фрактальная автономность.

Вывод: электрохимия — это не только отдельная отрасль, но и инфраструктурный слой, который связывает природные потоки, локальную генерацию и управляемую сеть.

Классификация электрохимических источников тока

Первичные источники

неперезаряжаемые

«батарейки»;
литиевые первичные;
резервные
специсточники;

Аккумуляторы

перезаряжаемые

свинцово-кислотные;
никель-кадмиевые /
никель-
металлгидридные;

Литиевые
LFP; NMC; LTO; LCO;
NCA;

натрий-ионные и прочие
металл-ионные;

проточные аккумуляторы

Топливные элементы

внешняя подача топлива

ТОТЭ; PEM; DMFC;

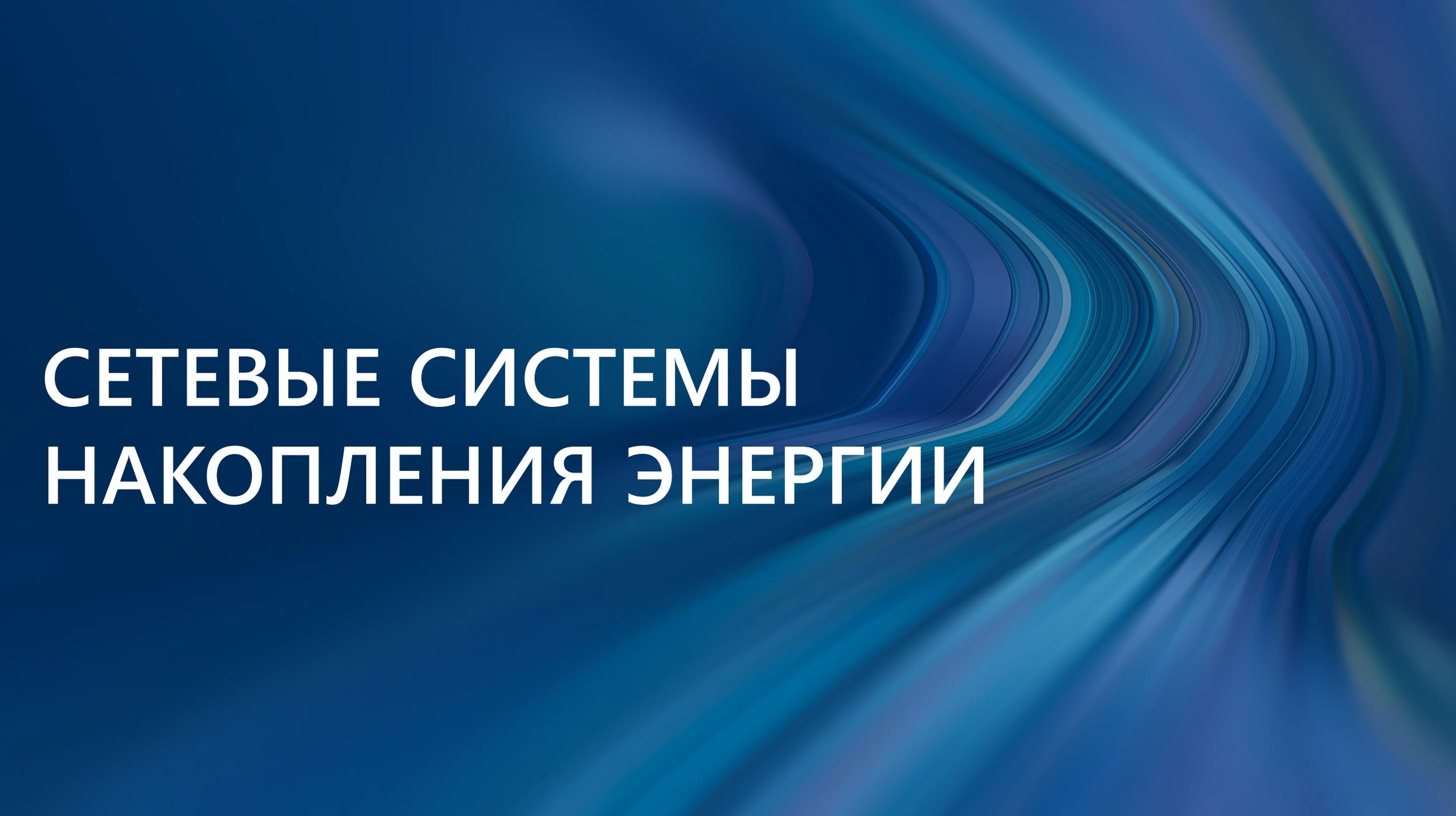
реверсивные схемы;
когенерация и
автономная генерация

Ионисторы

быстрый отклик

суперконденсаторы;
гибриды с
аккумуляторами;

Для стационарной энергетики ключевой набор сегодня: железо-фосфатные аккумуляторы на 2–6 часов, проточные аккумуляторы для более длинной длительности, ТОТЭ — там, где нужен автономный генератор с высоким электрическим КПД и полезным теплом.

The background features a dynamic, abstract pattern of blue and teal wavy lines that flow from the right side towards the left, creating a sense of movement and depth. The colors range from deep navy blue to lighter, almost white highlights, giving it a liquid or metallic appearance.

СЕТЕВЫЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Российские разработки и опыт интеграции стационарных систем накопления электроэнергии (СНЭЭ)



Стационарные системы накопления электроэнергии

Новое звено рынка электроэнергетики и основа четвёртого энергоперехода

Типовые решения под различные сегменты рынка в контейнерном и шкафом исполнении с климатической адаптацией на базе Li-ion батарей

- снижение затрат на электроэнергию до 30%
- экономия дизельного топлива до 50%
- компактное и безопасное резервирование (ИБП, СОПТ)
- увеличение ресурса генерирующего оборудования (ГПА, ГТУ)
- средний срок окупаемости 5 лет¹

Сервисное обслуживание

техническое обслуживание, аварийные ремонты и модернизация оборудования

36 накопителей на обслуживании сегодня по всей России

1. Варьируется в зависимости от кейса.

МЕТАЛИОН – проект МФТИ в партнерстве с Инэнерджи и ГПБ

Опытно-промышленное производство полного цикла

- 29 декабря 2022 г. создан [Институт Электродвижения МФТИ](#), начато выполнение ключевых ОКР
- 16 января 2023 г. Подписано [Соглашение с Правительством РФ](#) о развитии высокотехнологичного направления «Системы накопления электроэнергии»
- 27 апреля 2023 г. приняты [ключевые решения](#) о развитии отрасли и АО МЕТАЛИОН на встрече с Президентом РФ В.В. Путиным в Руднёво
- В 2024 г. введен в эксплуатацию на базе МФТИ [первый опытный цех](#) производства аккумуляторов «МЕТАЛИОН»
- В 2025 г. запущены производства российских катодных и анодных материалов мощностью до [10 тонн в год](#)
- Проект в фокусе пристального внимания Президента России. В 2025 году получено Поручение о ежегодном финансировании НТЦ Электродвижение в размере [1 млрд ₽ ежегодно](#). В [феврале 2026г.](#) Президент России посетил опытный цех «Металиона» в МФТИ
- Обеспечено бюджетное и внебюджетное(ГПБ) паритетное финансирование в [размере 6 млрд ₽](#)
- Общий объем финансирования оценивается на уровне [25 млрд ₽](#)



Консорциум разработчиков и производителей систем накопления энергии

Консорциум разработчиков и производителей



сырье
(соли металлов, графит и пр.)



материалы катода, анода,
электролита
(LFP, NMC, NCA, графит)



аккумуляторы



батареи
(с системой управления)



эксплуатация
и переработка

Полный цикл разработки



Материалы

- Новые высокоемкие электродные материалы
- Новые электролиты для ЛИА
- Твердотельные керамические и полимерные электролиты

** совместно с партнерами по консорциуму*

Аккумуляторы

- Высокоемкие ЛИА до 300 Втч/кг
- Высокомощные ЛИА более 1000 Вт/кг
- ЛИА с повышенным ресурсом – более 10 000 циклов
- Твердотельные, постлитий-ионные аккумуляторы свыше 300 Втч/кг
- Низкотемпературные ЛИА от минус 60 °С

Батареи/СКУ

- Модули 12, 24 и 48 В
- Транспортные ЛАИБ
- ЛИАБ для пилотируемых применений и для беспилотных аппаратов
- Высокомощные стартерные с режимами более 2 кВт/кг
- Для критических температур от -60 до +150 °С
- Пожаро- и взрывобезопасные на основе твердотельных ЛИА

Системы

- Бортовое электропитание и портативные устройства
- Тяговые батареи
- Стационарные накопители
- Гибридные системы энергообеспечения, в том числе с ДВС генераторами и топливными элементами

Бум сетевых СНЭЭ по всему миру – результат удешевления батарей и роста спроса на устойчивость сети

Совокупный объем мощности сетевых СНЭЭ в мире по итогам 2024 г. превысил 110 ГВт (по данным EIA, CNESA, APBЭ)



Монголия, 80 МВт/200 МВт·ч



Сингапур, 100 МВт/100 МВт·ч



Великобритания, 50 МВт/100 МВт·ч



США, Аляска, 93 МВт·ч



Китай, Цинхай, 270 МВт/1080 МВт·ч

Инфраструктура нового типа для балансировки энергосистем

Сетевая СНЭЭ

Инновационная система для сглаживания пиковых нагрузок на базе Li-ion технологий

- Рекордные сроки ввода – в 2-4 раза быстрее строительства традиционной генерации
- Гибкое масштабирование – возможно поэтапное наращивание мощности
- Моментальный отклик – время реакции ≤ 100 мс против 5-15 мин у ТЭС/ГТУ
- Высокий КПД – до 90% эффективности цикла заряд-разряд

Совокупная мощность 2–500 МВт

Совокупная энергоёмкость 10–1000 МВт·ч

Продолжительность выдачи 1–6 часов

Количество циклов заряд-разряд в сутки 1 цикл



Типовая стационарная система накопления электроэнергии (СНЭЭ)

Мощность: 2,5 МВт

Энергоёмкость: 5 МВт·ч

Исполнение: контейнер 20 фт.



Сетевая СНЭЭ

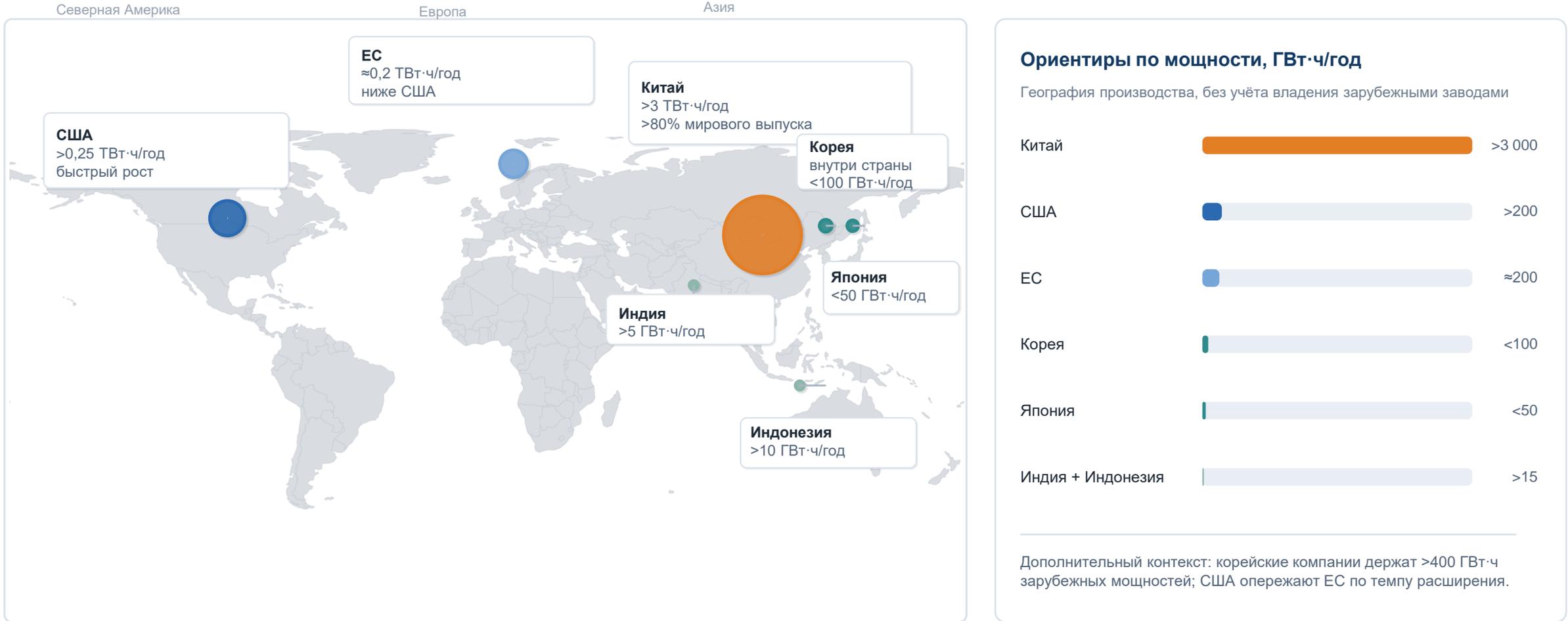


Сравнительная таблица – газовая генерация или СНЭЭ

Технические параметры		ГТУ/ПГУ	СНЭЭ 2 часа	СНЭЭ 6 часов
Номинальная мощность		50 МВт	55 МВт	58 МВт
Номинальная энергоёмкость		-	110 МВтч	341 МВтч
Срок ввода в эксплуатацию		2 года	1 год	1 год
Время отклика		10 мин	≤100 мс	≤100 мс
Масштабируемость		нет	да	да
Срок службы		30 лет	15 лет	15 лет
Экономические параметры		ГТУ/ПГУ	СНЭЭ 2 часа	СНЭЭ 6 часов
Капитальные затраты (CAPEX)	млрд ₽	5,00	2,78	5,98
Удельная стоимость мощности	млн ₽/МВт	100	50,5	102
Удельная стоимость энергоёмкости	млн ₽/МВт·ч	-	25,2	17,5
Операционные затраты в год (OPEX)	млн ₽	40,5	41	90

1. Мощность и энергоёмкость СНЭЭ приведены с учетом КПД оборудования и потерь на собственные нужды.
2. CAPEX сетевой СНЭЭ «под ключ», с учётом заказа оборудования, доставки и ПНР (стоимость ориентировочная, курс 81 ₽/\$).
3. Значения для газовой генерации условные, OPEX газовой генерации принят как 10 \$/кВт (без учёта затрат на топливо).
4. OPEX СНЭЭ принят как 1,5% CAPEX.

Карта мира: концентрация производства литиевых аккумуляторов



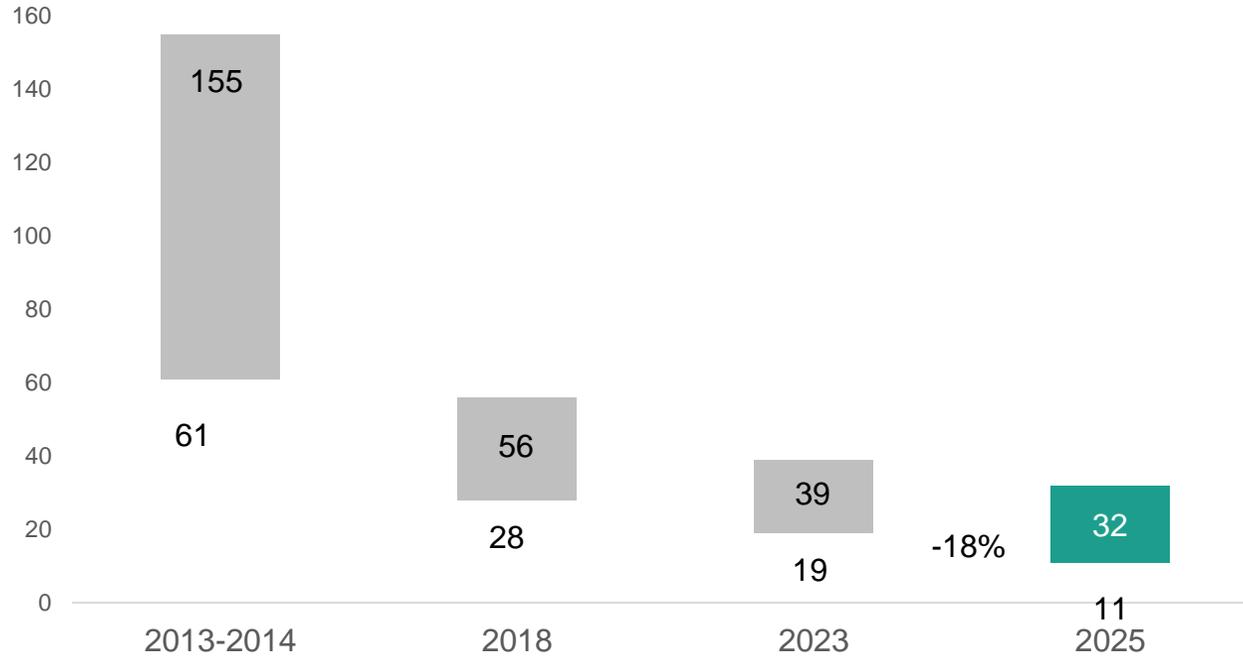
Легенда
: ● <50 ● 50–300 ● >300 ГВт·ч/год Круги отражают ориентир годовой мощности по географии производства.

Источники: IEA Global EV Outlook 2025; IEA, март 2025 и февраль 2026; Natural Earth.

Вариант 2 — аналитический: удобен, когда аудитория просит сразу увидеть числовой масштаб

Стоимость сетевых СНЭЭ на историческом минимуме

Диапазон CAPEX крупнейших сетевых СНЭЭ*, (млн руб./МВт·ч)



*По данным Lazard LCOE

На стоимость CAPEX влияет:

1. Состав проекта (только закупка батарейных контейнеров или поставка СНЭЭ "под ключ" (батареи, трансформаторы, проектирование, ПНР)
2. Длительность выдачи (от 2 до 6 часов)
3. Стоимость аккумуляторов и системы преобразования у поставщиков



Western Downs Battery, 270 МВт в 2025 г. на 2 ч
25 млн руб./ МВт·ч

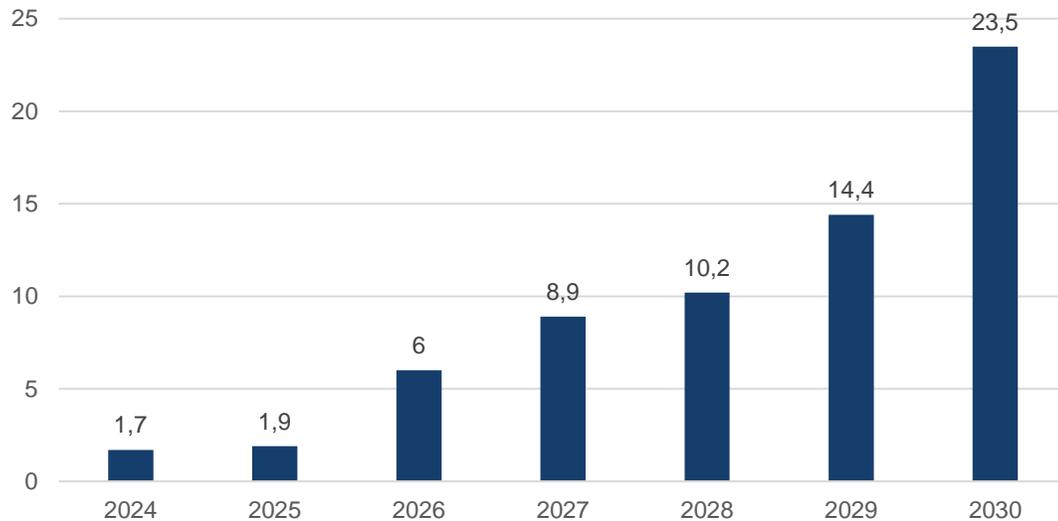


Collie Battery, 560 МВт в 2025 г. на 4 ч
32 млн руб./МВт·ч

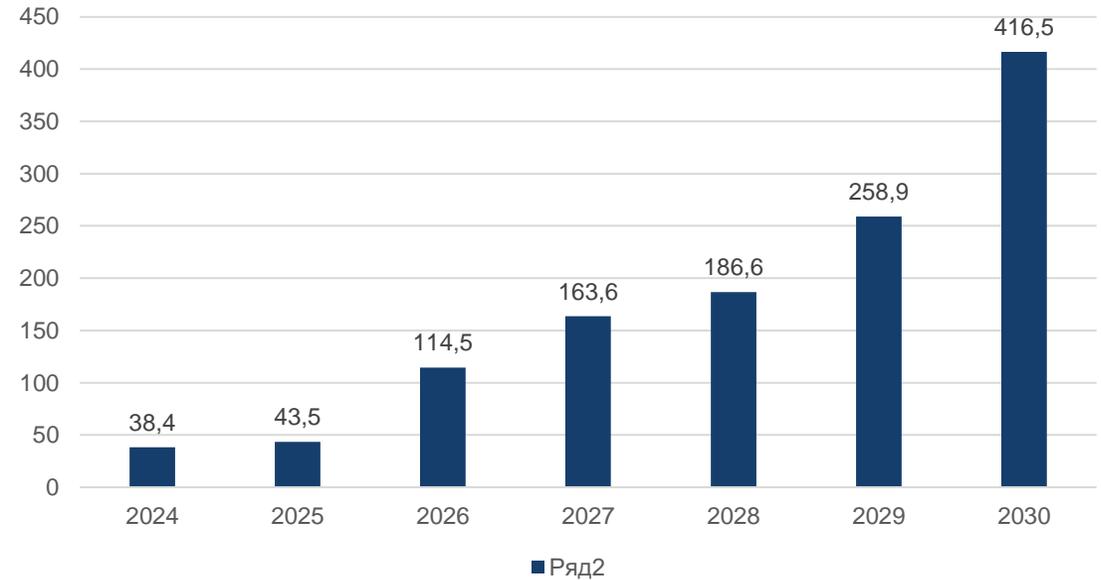
За семь лет рынок СНЭ в России вырастет на порядок

Рост рынка СНЭ обусловлен всё более широким применением накопителей энергии в различных технических системах, разработкой более эффективных материалов для изготовления СНЭ, ростом частных и государственных инвестиций в формирование инфраструктуры.

Прогноз роста емкости рынка СНЭ,
ГВтч в год



Прогноз роста объема рынка СНЭ, млрд руб.

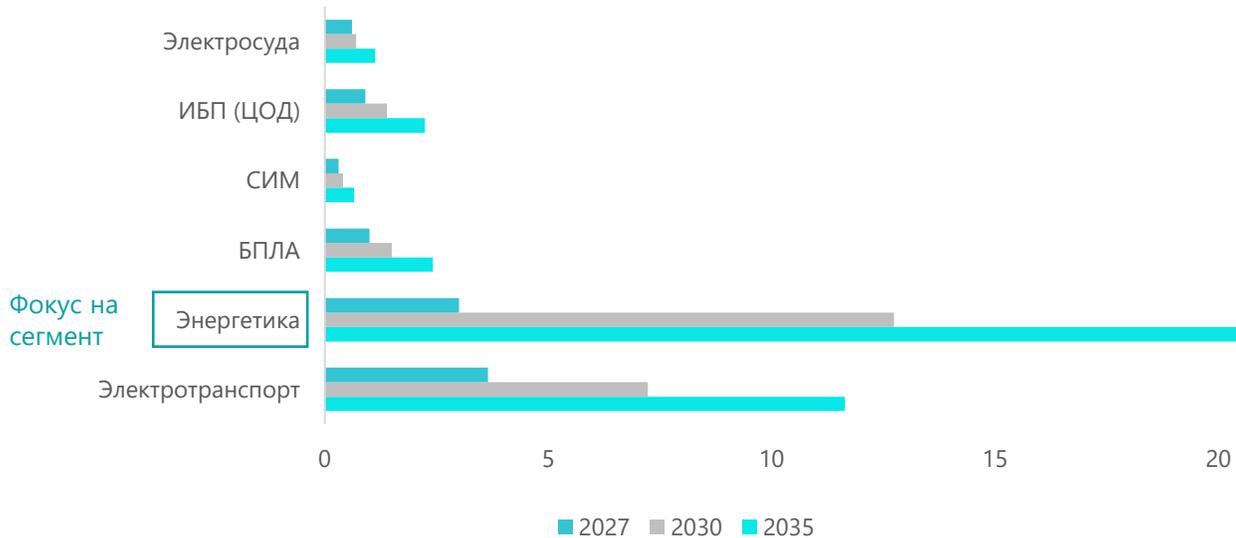


Анализ рынка

Прогноз емкости рынка ЛИА РФ
На основе данных АРТСНЭ



Структура рынка ЛИА РФ, ГВтч
На основе данных АРТСНЭ



TAM

Общий доступный рынок

Российский рынок плюс экспорт в дружественные страны в нишах транспорта, стационарных систем и БПЛА

SAM

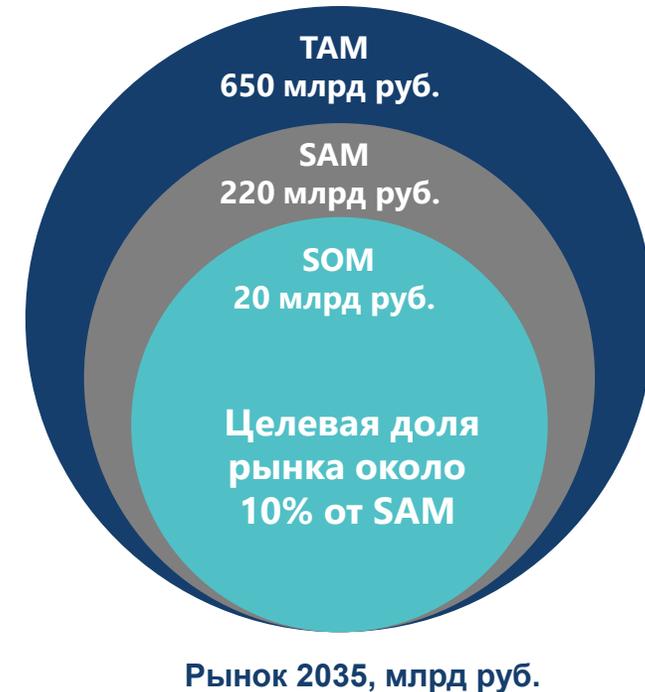
Обслуживаемый рынок

Наиболее перспективны сегменты, где критичны локализация, надежность и инженерная кастомизация решений: СНЭЭ для энергетики, ЦОД и телеком, промышленное высокотехнологичное оборудование

SOM

Доступная доля рынка

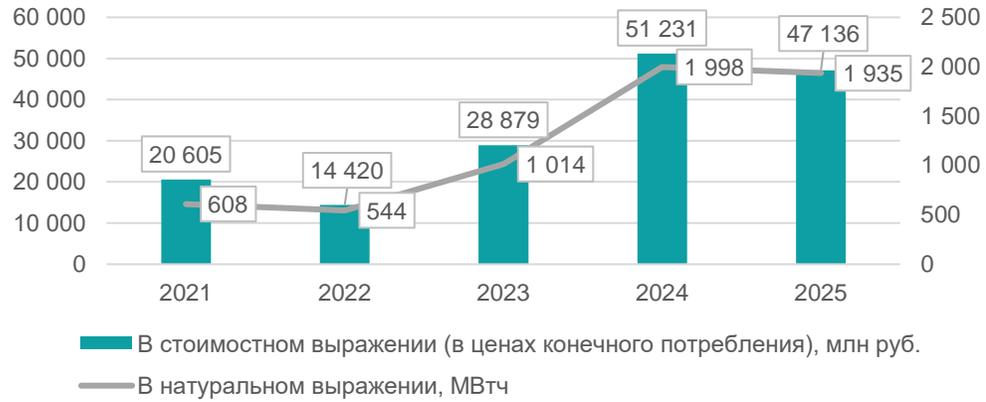
Объем производственных мощностей завода достигает 750 МВтч в год



Анализ рынка*

*Отчет Tebiz не учитывает аккумуляторы, ввезенные в составе транспортных средств, оборудования, электроники и тд

Объем рынка ЛИА РФ, млн руб.



Структура рынка ЛИА РФ в 2025 г., МВтч



Структура потребления литий-ионных аккумуляторов по отраслям в России в 2025 г.

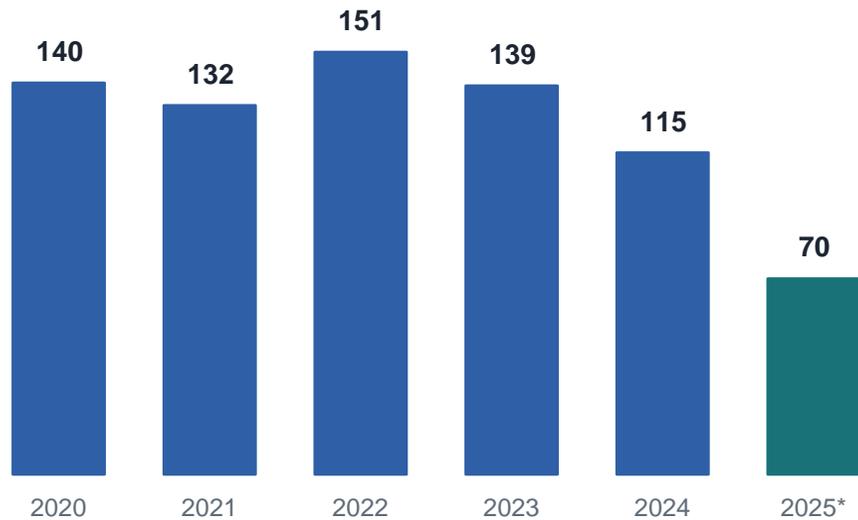


Структура дистрибуции литий-ионных аккумуляторов в России в 2025 г.



Цена аккумулятора и цена готовой системы

1. Средняя мировая цена аккумулятора, \$/кВт·ч



* 2025 и 2026 — средняя цена именно стационарного сегмента

2. Ориентир стоимости готовой системы для сетевого применения, \$/кВт·ч

192

IRENA
средняя
установленная
стоимость utility-
scale
системы

334

NREL
базовая оценка
полной 4-часовой
системы

Полная система = аккумулятор + силовая электроника + BMS + охлаждение + противопожарная защита + контейнер + ПНР.

Практический вывод: всегда разделять цену аккумулятора и цену полной системы.

Рынок России: спрос на стационарные аккумуляторы

Сегменты спроса до 2030 года

Сегмент	Спрос, 2030	Смысл применения
Изолированные и труднодоступные энергосистемы	3,0–6,0 ГВт·ч	замещение части дизеля, резерв, работа с СЭС/ВЭС
Промышленность и крупный потребитель	2,5–5,0 ГВт·ч	сокращение затрат на мощность, качество электроснабжения, резерв
Сетевые услуги и системная устойчивость	4,0–8,0 ГВт·ч	пиковое покрытие, регулирование, локальные узкие места сети
Телеком, дата-центры, спецобъекты	1,0–2,5 ГВт·ч	резервирование и переход к DC-архитектурам
Транспорт, робототехника, БАС и спецтехника	3,0–5,0 ГВт·ч	отдельный промышленный драйвер для локализации аккумуляторов

Сценарная оценка рынка РФ

13,5–26,5

ГВт·ч до 2030 года

400–860

млрд руб. систем под ключ

ключевая задача — суверенный технологический пакет: собственная электрохимия аккумуляторов, BMS, силовой электроники и контейнерных решений;

массовое ядро — железо-фосфатные аккумуляторы 2–6 часов;

для длинной длительности и автономной генерации нужны проточные аккумуляторы и ТОТЭ;

оценка сценарная и не является официальным прогнозом.

Главный вывод: рынок РФ уже достаточно широк, чтобы оправдать локализацию и серийное производство, если рассматривать не одну нишу, а совокупность сегментов.

Кейс: РУСГИДРО – гибридная СНЭЭ на острове Русский

Параметры СНЭЭ:



Литий-ионная батарея
20 кВт / 20 кВт·ч



Проточная батарея
10 кВт / 30 кВт·ч



Солнечная электростанция
30 кВт

Предназначен для работы с СЭС 30 кВт и внутренней сетью ТЭЦ Центральная о. Русский(Владивосток) для моделирования режимов работы Гибридных энергоустановок в АГЭУ ДФО.



Кейс: СИБУР – СНЭЭ для работы с солнечной электростанцией

Параметры СНЭЭ:



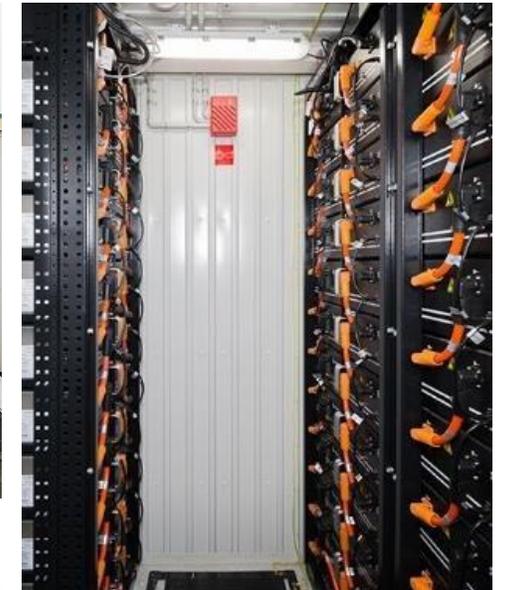
Литий-ионная батарея
312,5 кВт / 326,8 кВт·ч



Солнечная электростанция
450 кВт

СНЭЭ предназначена для работы с СЭС и внутренней сетью ООО «КЦО «СИБУР-ЮГ» для решения следующих задач:

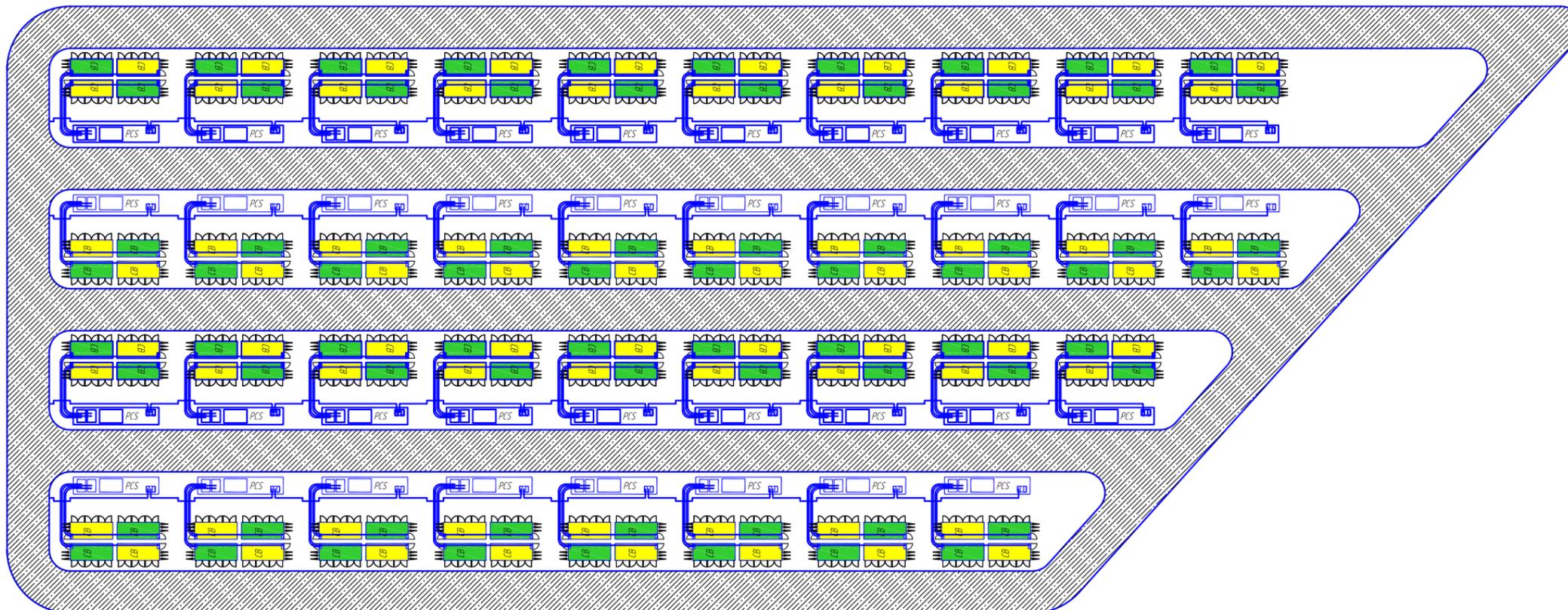
- снижение затрат на электрическую мощность в часы пиковых нагрузок;
- увеличение коэффициента использования установленной мощности солнечной электростанции мощностью 450 кВт.



Пилотный проект – сетевая СНЭЭ для ОЭС юга

Параметры сетевой СНЭЭ (129 МВт, 6 часов)

Мощность	129 МВт	Количество модулей СНЭЭ	37
Энергоёмкость	742 МВт·ч	Количество батарейных контейнеров	148
Площадь размещения СНЭЭ	1,5 га	Количество преобразовательных контейнеров (PCS)	37



Сетевые СНЭЭ – синергия роста индустрии и устойчивого развития энергосистемы



обеспечат локализацию ключевых компонентов сетевой СНЭЭ к 2027 году

1. Формирование опережающего спроса на продукцию завода «Металион».
2. Переход индустрии стационарных СНЭЭ на промышленный уровень.
3. Создание тиражируемого техпакета
4. Развитие полного производственного цикла СНЭЭ на российской базе.

☉	Конструкторская документация	✓	2026
☉	Система управления СНЭЭ	✓	2026
☉	Аккумуляторные батареи		2026-2027
☉	Контейнер СНЭЭ		2027
☉	Преобразователь		2028

Мировой опыт: три модели масштабирования рынка

Сетевой накопитель как элемент энергосистемы

Китай и США показали, что стационарные аккумуляторы становятся частью базовой сетевой инфраструктуры.

Китай добавил в 2025 году 66,43 ГВт / 189,48 ГВт·ч новых систем нового типа. США к концу 2024 года превысили 26 ГВт действующих сетевых аккумуляторов.

66,43 ГВт

ввод “новых типов” хранения в Китае в 2025

Накопитель у потребителя и у промышленности

Коммерческие и промышленные объекты используют аккумуляторы для снижения платы за мощность, резервирования, повышения использования собственной генерации и сокращения затрат на дизель.

Этот сегмент быстрее всего масштабируется в чувствительных к цене рынках.

>26 ГВт

действующие utility-scale аккумуляторы в США к концу 2024

Распределённая генерация и домохозяйства

Японская ENE-FARM показала, что электрохимическая генерация может стать серийным бытовым продуктом: в 2024 года в Японии работало более 500 тыс. микро ЭХГ установок.

Для России логика важна не прямым копированием, а как модель серийного промышленного продукта.

>490 тыс.

установок ENE-FARM в Японии, сентябрь 2023

Дружественные страны: контур технологической устойчивости

Постсоветское пространство

Беларусь
Казахстан
Узбекистан
Азербайджан
Армения
Кыргызстан
Таджикистан
Туркменистан
Грузия

Азия и Ближний Восток

Индия
Иран
ОАЭ
Саудовская Аравия
Вьетнам
Малайзия
Индонезия

Африка и глобальный Юг

Египет
Алжир
Марокко
ЮАР
Эфиопия
Нигерия
Танзания
Бразилия

Для России принципиально важно строить не только внутренний рынок, но и сеть совместимости стандартов, комплектующих и пилотных проектов в дружественных странах.

Массовое ядро и нишевые ветки аккумуляторов

Железо-фосфатные аккумуляторы

Базовая технология для стационарной энергетики: безопасность, стоимость, ресурс, технологическая зрелость.

Именно этот класс должен стать массовой промышленной платформой для России в сегментах 2–6 часов выдачи.

Натрий-ионные аккумуляторы

Не замена железо-фосфатной платформе, а нишевая альтернатива для отдельных применений: паритет по стоимости, условные климатические преимущества, ограничения по сырью.

Роль технологии следует снижать до реалистичного масштаба и развивать как дополнительную ветку.

Что дополняет рынок

Проточные аккумуляторы — длительная выдача и большое число циклов.

ТОТЭ — автономная генерация, когенерация и “тихий” резерв.

Суперконденсаторы — быстрые пики и гибриды с аккумуляторами. (Исчезающая ниша)

Рекомендуемая логика портфеля: массовое ядро + нишевые ветки + комплементарные технологии

Где ТОТЭ дают уникальную ценность

автономная генерация 1–100 кВт;
когенерация у потребителя;
резерв для критической инфраструктуры;
“тихий” источник для объектов, где нежелательны шум и частое обслуживание;
спецтехника и удалённые объекты.

Что важно для России

отдельная цепочка добавленной стоимости: материалы, интерконнектор, горячий блок, силовая электроника, шкаф/контейнер, система управления.

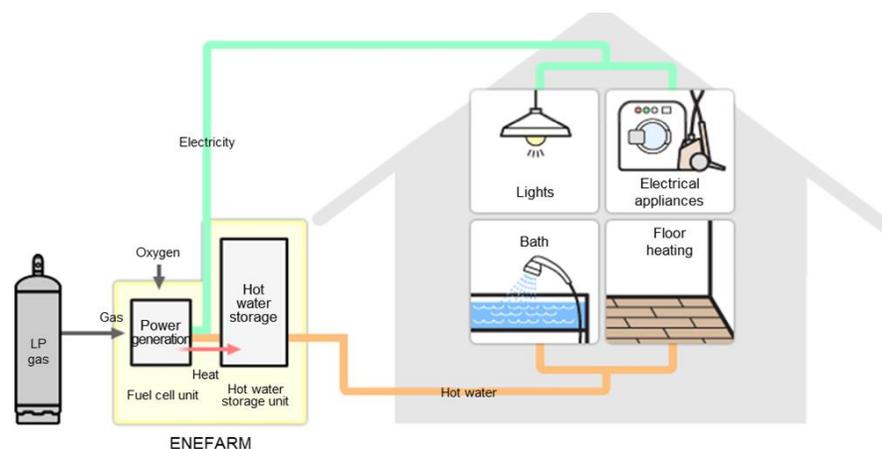
Это не конкурирует с аккумуляторами, а закрывает другой класс задач — длительную автономную генерацию.

Практический продуктовый ряд

1–5 кВт — дом, малый объект, резерв;
5–20 кВт — удалённый объект, связь, медицина;
20–100 кВт — микросеть, критическая нагрузка, когенерация.

Ключевая идея — формирование домашнего рынка для перехода к серии.

ТОТЭ должны рассматриваться не как “экзотика”, а как стратегическое дополнение к аккумуляторам в архитектуре автономной и распределённой энергетики.



>500 тыс.
домашних установок ENE-FARM в Японии, 2024

2009
запуск первой
коммерческой
версии

Что показывает программа ENE-FARM

Япония доказала, что бытовой электрохимический генератор можно сделать массовым инженерным продуктом, а не разовой демонстрацией.

По данным японского энергетического ведомства, к концу сентября 2023 года в стране работало более 490 тыс. установок ENE-FARM. Рынок развивался через стандартизацию, сервис, снижение стоимости и работу газовых компаний как канала продаж.

В России есть свой фундаментальный и прикладной задел по всей цепочке, прямое копирование не требуется. Важен сам принцип: тех. пакет, продуктовая линейка, сервисная модель и серийная интеграция ТОТЭ в энергетику малой мощности.

1. Меньше преобразований

Солнечная генерация, аккумуляторы, электроника, связь, дата-центры и зарядная инфраструктура изначально работают вокруг постоянного тока.

Чем меньше лишних AC/DC и DC/AC преобразований, тем ниже потери и проще архитектура.

2. Выше живучесть

Микросеть постоянного тока легче дробить на локальные острова. Это повышает устойчивость при авариях, в удалённых районах и на объектах критической инфраструктуры.

3. Выше совместимость с новым потребителем

Телеком, ИКТ, беспилотные системы, робототехника, здания с распределённой электроникой и часть промышленной нагрузки логично подключаются к DC-шине напрямую.

Практический вывод: будущее не “только AC” и не “только DC”, а в гибридной архитектуре, где DC применяется там, где он даёт прямой инженерный выигрыш.

Удачные кейсы по постоянному току

Остров Seogeochado, Республика Корея

MVDC-остров с солнечной и ветровой генерацией и аккумуляторами. Проект работает с 2016 года. В литературе и отраслевых обзорах фиксируется рост эффективности примерно на 10% за счёт сокращения преобразований.

≈10%

рост эффективности на DC-острове Seogeochado

Коммерческие здания и кампусы 380 В DC

Отраслевые исследования PNNL и демонстрации Bosch/NREL показывают, что 380 В DC для части зданий и кампусов сокращают преобразовательные потери; типичные оценки выигрыша — порядка 10–18%, а в отдельных демонстрациях — 6–8% относительно AC-архитектуры.

10–18%

типичный выигрыш 380 В DC для части зданий

Телеком и ИКТ: стандарт -48 В DC

Телеком давно живёт на архитектуре -48 В DC; этот опыт важен как доказательство серийности, стандартизации и высокой надёжности DC-систем. Для новых объектов это естественная база для связи, датчиков и части вычислительной нагрузки.

-48 В

де-факто стандарт электропитания телеком-оборудования

Архитектура гибкой микросети: DC-ядро, AC-нагрузка, островный режим



Смысл архитектуры: DC-ядро объединяет ВИЭ, аккумуляторы и ТОТЭ; AC-шина остаётся там, где она нужна нагрузке и внешней сети.

Экономика применения: сокращение затрат по сегментам

Изолированная энергетика

сокращение расхода дизельного топлива и снижение работы ДГУ в неэффективных режимах

Промышленность

сокращение платы за мощность, повышение качества электроэнергии, резерв

Сетевая инфраструктура

отсрочка части сетевых вложений, разгрузка узких мест и локальный резерв

Телеком / ИКТ / ЦОД

сокращение числа преобразований, рост автономности и надёжности

Экономический эффект почти всегда составной: топливо, мощность, качество электроснабжения, ресурс оборудования и сокращение затрат на резервирование.

Дорожная карта 2026–2030



К 2030 году целевая конфигурация — не один продукт, а новая отрасль: аккумуляторы + ТОТЭ + силовая электроника + программируемая сеть.

Что имеет смысл делать уже сейчас

1. Зафиксировать приоритеты

железо-фосфатные аккумуляторы как массовая платформа;
натрий-ионные — как нишевая ветка;
ТОТЭ — как отдельный трек.

2. Запустить пилоты

северные и изолированные территории;
связь и дата-центры;
промышленность;
кампусы и ведомственные объекты.

3. Стандартизовать

BMS, контейнер, интерфейсы, безопасная эксплуатация, типовые схемы DC-микросети и интеграции с внешней сетью.

4. Строить контур кооперации

материалы и комплектующие в РФ;
кооперация с дружественными странами; экспорт типовых решений и сервисов.

Институциональный смысл: МФТИ и НТИ точка технологической сборки — от материалов и ОКТР до пилотов, стандартов и подготовки кадров.

СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ



ГАЗПРОМБАНК

Резервный слайд: аббревиатуры и термины

TOTЭ твердооксидный топливный элемент

BMS система управления аккумулятором

PCS силовой преобразователь

EMS система управления энергией

DC постоянный ток

AC переменный ток

LFP железо-фосфатный литиевый аккумулятор

NMC литий-никель-марганец-кобальтовый аккумулятор

LTO литий-титанатный аккумулятор

MVDC средневольтная сеть постоянного тока

ВИЭ возобновляемые источники энергии

ГВт·ч гигаваатт-час